

УДК 629.03

**РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕМ
ЭНЕРГИИ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ЕЗДОВЫХ ЦИКЛАХ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ FASTSIM**

**CALCULATION OF ELECTRIC VEHICLE ENERGY CONSUMPTION
IN DRIVING CYCLES BY USING FASTSIM PROGRAM**

Ле Ван Нгиа¹, канд. техн. наук, **В. А. Кусяк²**, канд. техн. наук, доц.,

¹ Ханойский университет Техники и Науки, г. Ханой, Вьетнам,

² Филиал БНТУ «Научно-исследовательский политехнический институт», г. Минск, Беларусь

Le Van Nghia¹, Ph.D. in Engineering,

V. Kusyayk, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,

¹Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam,

²Polytechnic Research Institute, Belarusian National Technical University,
Minsk, Belarus

В работе приводятся расчеты потраченных мощностей для преодоления сопротивлений воздуха и качению при движении автомобиля по ездовым циклам с использованием классической теории движения автомобиля и программы FASTSim. Дается сравнение полученных результатов и подтверждается адекватность данной программы.

The paper presents the calculations of the electric vehicle energy consumption (drag power and rolling resistance) during driving cycles moving by using classical car theories and the FASTSim program. Comparisons of the obtained results are given, and the adequacy of this program is confirmed.

Ключевые слова: электромобиль, ездовые циклы, потребление энергии автомобиля, FASTSim, компьютерное моделирование.

Keywords: electric vehicle, driving cycle, vehicle energy consumption, FASTSim, computer simulation.

ВВЕДЕНИЕ

Экология является одной из важнейших задач для развивающихся стран европейско-азиатских регионов. Для уменьшения выбросов

в окружающую среду ведущие мировые производители наладили серийный выпуск автотранспортных средств на электрической тяге. Исследованием данной тематики занимаются ведущие автомобилестроительные концерны и специализированные фирмы. При этом задача по потреблению энергии электрического автомобиля вызывает много интереса, и является базой для дальнейших научных исследований. В данной работе приведен метод и результаты расчета потребления энергии электромобилем по классическим ездовым циклам с использованием программного комплекса FASTSim. База данных программы включает основные параметры известных моделей электрических автомобилей. При выполнении расчетов для других моделей в программе FASTSim должны вводиться основные параметры электромобиля, такие как: полная масса, коэффициент сопротивления воздуха, коэффициент сопротивления качению и т. д.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Future Automotive Systems Technology Simulator: FASTSim является высокоуровневым инструментом для анализа движения автотранспортных средств, который поддерживается «Управлением автомобильных технологий» (NREL) Министерства энергетики США (см. www.nrel.gov/fastsim). FASTSim позволяет сравнивать и оценивать эффективность, производительность, стоимость и время автономной работы легких и тяжелых автотранспортных средств при движении по реальным ездовым циклам.

В качестве объекта исследования выбран электрический автомобиль Nissan Leaf 24 kW (2016), основные параметры [1,2] которого приведены в таблице 1.

В качестве ездовых циклов выбраны типовые скоростные циклы движения автомобилей по городу Ханой (Вьетнам), данные которых представлены на рисунке 1.

Для проверки адекватности используемого программного модуля, проведены расчеты мощностей, потраченные на преодоление сопротивлений воздуха и качению, соответственно по программе FASTSim и с использованием классической теории движения автомобиля.

Таблица 1 – Параметры упрощенной динамической модели автомобиля

Параметры	Значения	Примечание
Полная масса	1613, кг	[1]
Коэффициент сопротивления воздуха	0.315	[1,2]
Лобовая площадь	2.755, м ²	[1,2]
Коэффициент сопротивления качению	0.008	[1,2]
Коэффициент сцепления	0.7	[1]
Мощность двигателя	80, кВт	[1]
Мощность тяговых батарей	86, кВт	[1]
Энергия батарей	24, кВтч	[1]

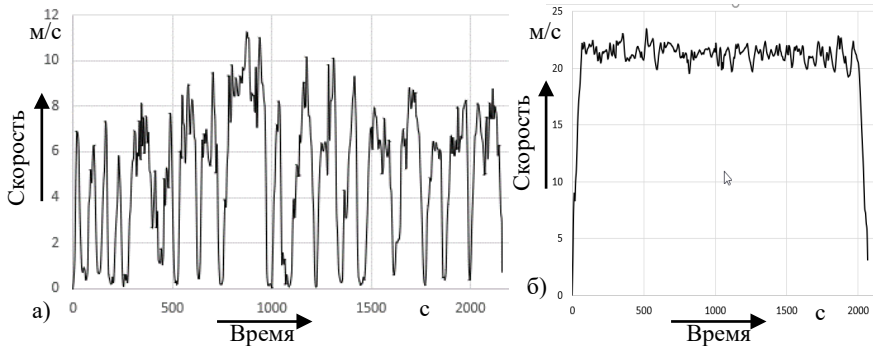


Рисунок 1 – Типовые ездовые циклы автомобилей по городу Ханоя
 а) – внутригородской цикл, б) – магистральный цикл

По классической теории движения автомобиля, мощности, потраченные на преодоление сопротивлений воздуха (P_{aero}) и качению (P_{roll}) рассчитываются по формулам [2]:

$$P_{aero} = 1/2 \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot v^3,$$

$$P_{roll} = C_{RR} \cdot m_{total} \cdot g \cdot v,$$

где v – скорость движения автомобиля по циклу (м/с), ρ – плотность воздуха (1,2 кг/м³), C_D – коэффициент сопротивления воздуха, A – лобовая площадь (м²), C_{RR} – коэффициент сопротивления качению, m_{total} – полная масса автомобиля (кг), g – ускорение свободного падения (9,81 м/с²).

Для выполнения расчетов мощностей в программе FASTSim, сначала выбиралась модель автомобиля в разделе «Vehicle Input» – Nissan Leaf 24 kW, затем загружались данные по ездовым циклам и инициировалась имитация движения электромобиля.

Значения мощностей, полученные при использовании разных методов расчета, приведены на рисунках 2 и 3.

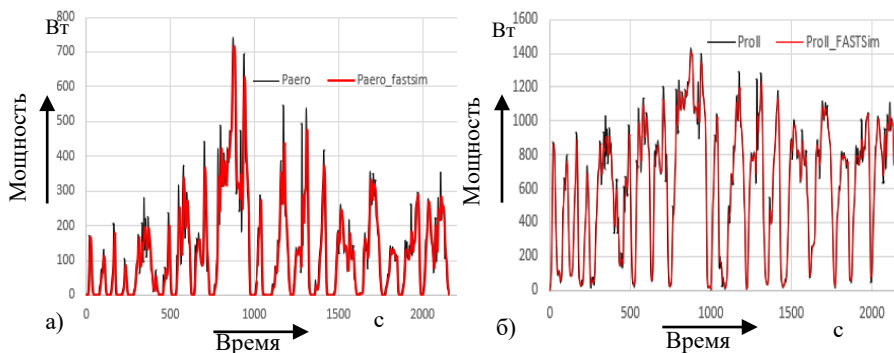


Рисунок 2 – Потраченные мощности при движении автомобиля по внутригородскому ездовому циклу

- а) – мощность, потраченная на преодоление сопротивления воздуха (P_{aero}),
- б) – мощность, потраченная на преодоление сопротивления качению (P_{roll})

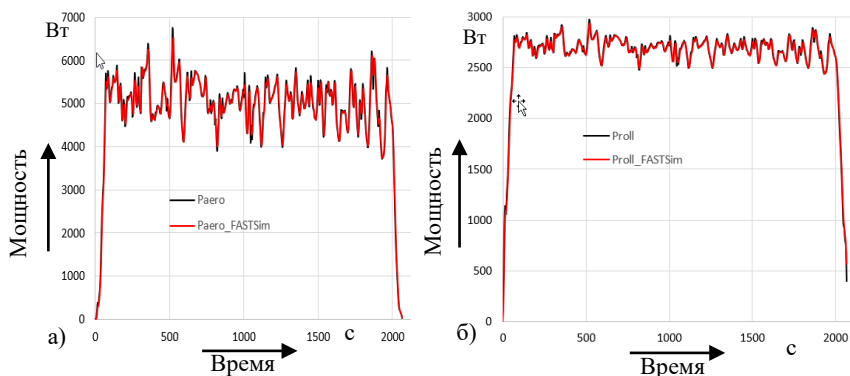


Рисунок 3 – Потраченные мощности при движении автомобиля по магистральному ездовому циклу

- а) – мощность, потраченная на преодоление сопротивления воздуха (P_{aero}),
- б) – мощность, потраченная на преодоление сопротивления качению (P_{roll})

Сопоставление результатов, полученных разными методами расчетов, показывает адекватность программы FASTSim: относительная разность средних значений потребляемых мощностей не превышает 2,5 % (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Потребляемые электромобилем мощности

Параметры	Теория	FASTSim	Разность, %
Внутригородской цикл			
P_{aero} , Вт	127.68	124.56	2.44
P_{roll} , Вт	627.85	627.7	0.02
Магистральный цикл			
P_{aero} , Вт	4835.42	4833.48	0.04
P_{roll} , Вт	2622.2	2621.56	0.02

Помимо потребляемой мощности программа FASTSim позволяет производить расчет таких энергетических показателей автомобиля такие как: остаточная емкость батарей в % (SOC – state of charge), эффективность электрического двигателя, мощность фрикционного тормоза и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Погрешность расчета потребляемой электромобилем мощности в программе FASTSim составляет менее 2,5 %, что подтверждает ее адекватность и возможность дальнейшего использования при разработке конфигурации электромобиля и комплексном моделировании движения по различным ездовым циклам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов, И. С. Теория автомобиля: учеб. пособие / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Ки Йонг Чой. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – 164 с. : ил.
2. EPA, United States Environmental Protection Agency – Transportation, Air Pollution, and Climate Change / [электронный ресурс]: <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change>. Дата доступа: 19.05.2021.
3. James Larminie, Electric Vehicle Technology Explained / James Larminie, John Lowry. – British: UK, 2003. – 296 p.

Представлено 20.05.2021